

УДК 612-014

**СИНХРОНИЗАЦИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ
В КАРДИО-РЕСПИРАТОРНОЙ СИСТЕМЕ У ИСПЫТУЕМЫХ С РАЗНЫМ
ТИПОМ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ**

Бирюкова Е.А., Чуян Е.Н., Богданова О.Д.

*Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Украина,
e-mail: elena-chuyan@rambler.ru*

Исследовалась синхронизация колебательных процессов в кардио-респираторной системе (КРС) испытуемых с разным типом вегетативной регуляции при применении метода управляемого дыхания (УД) с индивидуально подобранной частотой (ИПЧ), соответствующей локализации максимального пика мощности в низкочастотном диапазоне спектра сердечного ритма (СР).

Показано, что у испытуемых с нормотоническим и симпатическим типом вегетативной регуляции курсовое воздействие УДИПЧ ведет к значительному снижению стресс-индекса (Si) и увеличению мощности спектральных компонентов СР. Полученные данные свидетельствуют об изменении функционального состояния КРС и уменьшении напряжения регуляторных систем под влиянием УДИПЧ, что связано с центральной и вегетативной респираторно-зависимой синхронизацией между дыхательной и сердечно-сосудистой системами.

Ключевые слова: кардиореспираторная система, вегетативная регуляция, управляемое дыхание, вариабельность сердечного ритма, спектральный анализ.

ВВЕДЕНИЕ

Ярким примером взаимодействия сложных ритмических процессов в биологических системах является функционирование кардио-респираторной системы человека (КРС) [1, 2]. Известно [3], что одним из главных колебательных процессов в КРС человека является процесс сердцебиения с частотой близкой к 1 Гц, генерируемый водителем ритма сердца. Этот процесс называется основным сердечным ритмом и проявляется в записях электрической активности сердца, в частности, в последовательности RR-интервалов, которую часто называют вариабельностью ритма сердца (ВСР), так как она отражает колебания частоты сердечных сокращений (ЧСС) во времени и является результатом деятельности сложной системы вегетативного управления ритмом сердца (СВУС). Известно, что ВСР модулируется множеством различных внешних влияний, в качестве которых, в том числе, выступает процесс дыхания, имеющий обычно частоту вблизи 0,25 Гц [2]. В результате взаимодействия сердечного ритма (СР) с дыханием, ЧСС возрастает при вдохе и уменьшается при выдохе, что свидетельствует о его частотной модуляции и проявляется в сигналах спектрограммы СР появлением основного волнового пика в ее низкочастотном диапазоне вблизи 0,1 Гц.

Некоторыми авторами [4] показана возможность гармонизации СВУС с помощью управляемого дыхания (УД) с частотой 0,1 Гц. Эффект резонанса в данном случае обусловлен физическим совпадением частот двух гармонических колебательных процессов: внешнего дыхательного возмущения и собственных колебаний системы. Однако, широко известна индивидуальная вариативность волнового пика в низкочастотном диапазоне спектра (от 0,05 Гц до 0,15 Гц), поэтому недостатком существующих подходов является то, что частота дыхания 1 вдох / 6 секунд (0,1 Гц) [4, 5, 6] не всегда будет иметь резонансный отклик в СВУС. Следовательно, перспективным является использование метода УД с индивидуально подобранной частотой (ИПЧ) [7].

В наших предыдущих исследованиях [8] показана высокая эффективность использования метода УД с частотой, соответствующей частоте локализации максимального пика мощности в низкочастотном (LF) диапазоне СР для изменения показателей ВСР условно-здоровых людей. Однако известно [9, 10], что механизм регуляции СР напрямую опосредуется влияниями вегетативной нервной системы (ВНС), которая выполняет в организме функции сохранения и поддержания гомеостаза, а также отвечает за мобилизацию функциональных систем организма при адаптации к изменениям условий внутренней и внешней среды. Нами [11] также показаны значительные отличия в индивидуальном профиле функционального состояния (ИПФС) испытуемых, выраженные в наличии разных механизмов поддержания гомеостаза и регуляции функционального состояния у испытуемых с разным тонусом ВНС, маркером которого является стресс-индекс (S_i или индекс напряженности регуляторных систем) [9]. Поэтому, можно предположить, наличие у испытуемых с разным ИПФС разных по силе и интенсивности реакций на одно и то же воздействие, в частности УДИПЧ.

Однако остается неизученным влияние УДИПЧ на синхронизацию процессов в КРС испытуемых с разным типом вегетативной регуляции.

В связи с этим, целью настоящего исследования явилось изучение синхронизации колебательных процессов в КРС испытуемых с разным типом вегетативной регуляции при применении метода УДИПЧ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании принимали участие 53 студента-волонтера женского пола в возрасте 18-23 лет, условно здоровых, без признаков сердечно-сосудистой и дыхательной патологии. Фаза менструального цикла не учитывалась. Все испытуемые дали добровольное согласие на участие в исследовании.

Предварительная запись ВСР с помощью программно-аппаратного комплекса «Омега-М» (производство научно-исследовательской лаборатории «Динамика», г. Санкт-Петербург) выявила индивидуально-типологические отличия этих испытуемых, связанные, в частности, со значениями стресс-индекса S_i . Известна классификация Р. М. Баевского [9] при которой испытуемых со средними значениями S_i ($50 \leq S_i \leq 200$ усл.ед.) относят к нормотоникам, с высокими значениями ($S_i \geq 200$ усл.ед.) – к симпатотоникам и низкими ($S_i \leq 50$ усл.ед.) – к ваготоникам. В соответствии с этим все испытуемые были разделены на 3 группы: I – со средними значениями S_i – 40% ($n=21$);

II – с высокими значениями Si – 30% ($n=16$) и III – с низкими значениями Si – 30% ($n=16$). Такой отбор позволил сформировать однородные группы испытуемых.

Исследования проводили ежедневно в течение 10-ти дней и через семи дней после окончания курса УДИПЧ (17 день эксперимента) для регистрации эффекта последствия в одно и то же время суток, что позволило исключить влияние суточных колебаний ВСП на результаты исследования [12, 13].

Исследования начинали с регистрации кардиосигнала в первом стандартном отведении с помощью АПК «Омега-М», разработанного на основе принципиально нового метода дискретного динамического анализа совокупности ритмов сердца и мозга. Ритмограммы, выделяемые в процессе обработки из электрокардиосигнала, представляют собой последовательности временных интервалов между соседними сердечными возбуждениями. Для аппаратно-программной реализации метода из электрокардиосигнала выделяют пять ритмов: $R-R$ интервалограмма (последовательность $R-R$ интервалов); $R-T$ интервалограмма (последовательность $R-T$ интервалов); отношения амплитуды R и T зубцов (последовательность отношения амплитуды R и T); скважность электросигнала (последовательность значений отношения периода следования кардиокомплекса к его длительности). Из каждого ритма выделяют волны 1-го порядка, представляющие собой огибающие этих ритмов. Таким образом, осуществляется корректный переход от ритмограмм к временным функциям.

Регистрацию проводили в положении сидя при спокойном дыхании в течение 5-ти минут, то есть, времени, необходимого для набора 300 кардиокомплексов. Для реализации поставленной цели были использованы спектральный (HF, LF, VLF, TOTAL) метод анализа ВСП (в системе оценок, рекомендуемых стандартами Европейского кардиологического общества и Северо-Американского общества стимуляции и электрофизиологии [10]) и метод вариационной пульсометрии по Баевскому (Si) [9], которые подробно описаны в наших предыдущих исследованиях [11, 14].

В первый день эксперимента фоновую запись показателей ВСП проводили на фоне спонтанного дыхания – контрольная запись. При этом, контролировали отсутствие форсированных вдохов и задержек дыхания во время регистрации ЭКГ, тем самым, исключая произвольные влияния дыхания на СП, т.е. исследования проводили в относительно стандартных условиях.

В последующие 10 дней эксперимента запись показателей ВСП осуществляли на фоне УД, частота которого соответствовала частоте локализации максимального пика мощности в низкочастотном (LF) диапазоне СП [8].

Во время сеанса УДИПЧ каждый испытуемый дышал под индивидуальный ритм, задаваемый «дыхательным шаром», параметры которого рассчитывались по ритмограмме, записанной непосредственно перед сеансом дыхания на АПК «Омега» [15].

Продолжительность сеанса УДИПЧ составляла около пяти минут. Повторную запись ритмограммы проводили не ранее, чем через пять минут после окончания сеанса УДИПЧ.

Критерием эффективности используемого метода являлось изменение показателей ВСП относительно контрольной записи, полученной в первый (фоновый) день эксперимента.

Для сравнения значений показателей у испытуемых разных индивидуально-типологических групп использовали коэффициент сравнения (К) этих показателей по отношению к значениям, полученным в группе испытуемых со средними значениями S_i , рассчитанный по формуле:

$$K = \left(\frac{C_1 - K_{2,3}}{K_{2,3}} \right),$$

где C_1 – значения показателей, полученные в группе испытуемых со средними значениями S_i ; $K_{2,3}$ – полученные в группе с высокими (2) и низкими (3) значениями S_i соответственно.

Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью пакета программ «Омега-М» и «Статистика 6.0». Достоверность различий полученных данных определяли с помощью критерия Вилкоксона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ показателей вариационной пульсометрии выявил, что после 10-тидневного курса УДИПЧ у испытуемых группы 1 со средними значениями S_i произошло достоверное снижение этого показателя на 26,6% ($p < 0,05$), у испытуемых 2-ой группы с высокими значениями – в среднем на 41,8% ($p < 0,05$). У испытуемых 3-ей группы с низкими значениями S_i достоверных изменений данного показателя за 10 дней исследования выявлено не было (рис. 1, А). Следует отметить, что максимальные изменения S_i у испытуемых 1-ой и 2-ой групп были зарегистрированы уже на 4-е – 5-е сутки исследования. С 6-х по 10-е сутки УДИПЧ значения данного показателя существенно не изменялись, что свидетельствует о выходе их на «плато» (рис. 1, А).

Как известно [16], S_i характеризует степень преобладания симпатических влияний над парасимпатическими и уровень напряженности регуляторных систем [9]. Поэтому, снижение значений этого показателя под воздействием УДИПЧ на частоте локализации максимального пика в LF-диапазоне СР свидетельствует об увеличении вагусных влияний на СР и снижении уровня напряженности регуляторных систем организма испытуемых, что и было зарегистрировано в нашем исследовании у испытуемых 1-ой и 2-ой групп.

Заметим, что S_i увеличивается в 1,5 – 2,0 раза при физической нагрузке [17], в 1,1 – 3,9 раза во время эмоционального предэкзаменационного стресса у студентов и школьников [18], в 1,4 – 1,7 раза у космонавтов во время магнитной бури [19], в 20 – 30 раз у спортсменов, участвующих в соревнованиях по спортивным играм и в единоборствах, что свидетельствует о состоянии сильнейшего функционального напряжения «на грани срыва адаптации» [20]. Поэтому, существенное снижение S_i у испытуемых с высокими и средними значениями этого показателя уже после 5-тикратного воздействия УДИПЧ открывает возможности практического использования данного метода для снижения уровня стресса, вызванного психоэмоциональными или физическими нагрузками.

Следует отметить, что в результате курса УДИПЧ происходило постепенное приближение значений S_i у волонтеров 2-ой и 3-ей групп к значениям, этого показателя у волонтеров группы 1, на что указывает динамика коэффициента сравнения (К)

(рис. 1, Б). Следовательно, курсовой УДИПЧ приводит к нивелированию межгрупповых различий и приближению значений показателя Si у испытуемых к нормотоническому (испытуемые группы 1) типу [9, 17, 19] вегетативной регуляции.

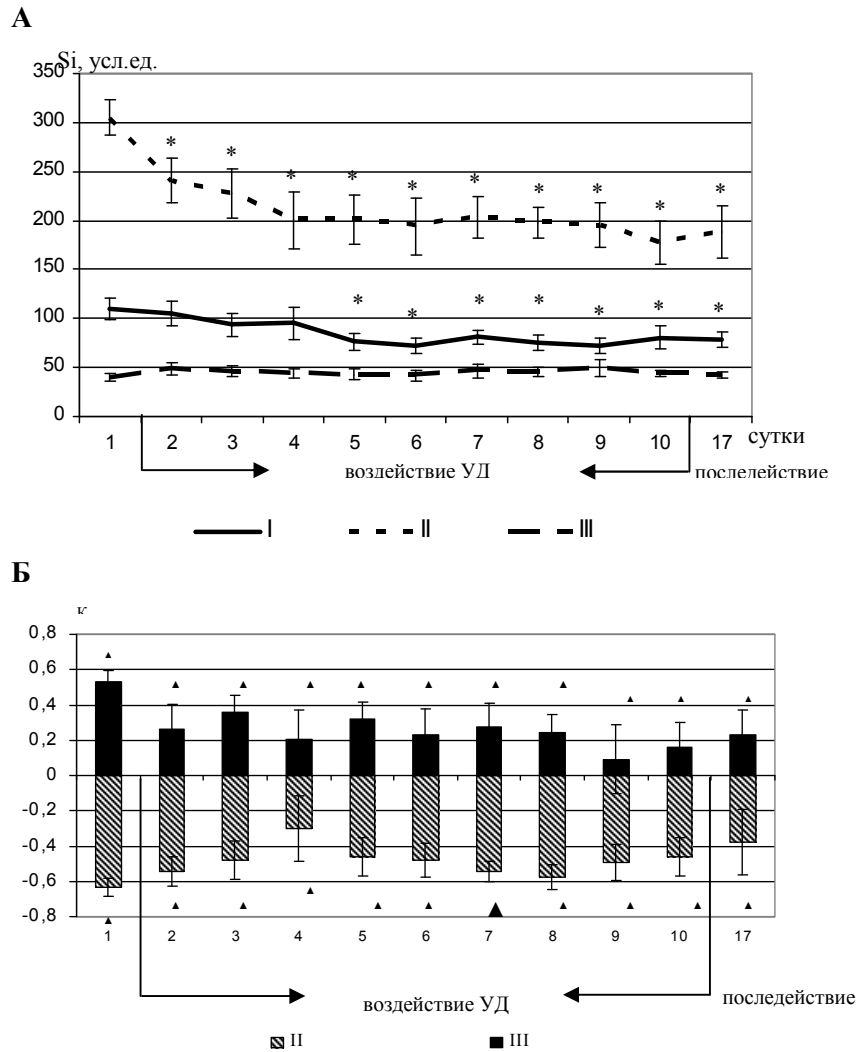


Рис. 1. Изменение Si под влиянием управляемого дыхания с индивидуально подобранной частотой у испытуемых в разные сроки эксперимента.

А – в усл.ед.; Б – коэффициент сравнения (K) значений показателя Si у испытуемых с высокими (II) и низкими значениями (III) этого показателя по отношению к значениям, полученным в группе испытуемых со средними значениями Si (I).

Примечание: * – достоверность различий ($p < 0,05$) по критерию Вилкоксона относительно исходных значений изученных показателей; ▲ – относительно значений в I группе испытуемых; ■ – относительно значений в III группе испытуемых.

Спектральный анализ волновых показателей СР, отражающих внутреннюю структуру ряда кардиоинтервалов и позволяющих судить о механизмах, обеспечивающих наблюдаемый конечный эффект регуляторных воздействий, показал достоверные изменения как показателя суммарной мощности спектра СР (ТР), так и ее составляющих – HF, LF, т.е. автономный и сегментарный уровни регуляции СР у испытуемых начиная со 2-х – 3-х суток исследования (рис. 2). Достоверных изменений VLF-компонентов СР за 17 дней исследования у испытуемых выделенных групп зарегистрировано не было.

У испытуемых группы 1 на 10-е сутки исследования значения показателей HF, LF и ТР увеличились относительно фоновых значений на 72%, 113% и 82% ($p < 0,001$) соответственно. У испытуемых группы 2 были зарегистрированы наибольшие изменения данных показателей, составившие 283%, 245% и 183% ($p < 0,001$) от исходных значений. У испытуемых группы 3 достоверных изменений изученных показателей статистического анализа за 10 дней исследования зарегистрировано не было (рис. 2).

Многочисленные экспериментальные данные указывают на то, что спектр ВСР, получаемый при анализе коротких (3-х – 5-тиминутных) фрагментов ритмограмм, имеет исключительно нейрогенную природу, поскольку, как высокочастотная (HF), так и низкочастотная (LF) компоненты в спектре ВСР исчезают после денервации сердца [21], нет их у пациентов с трансплантированным сердцем [22] и у плодов – анэнцефалов [23].

В настоящее время считается установленным, что HF-компонента спектра СР (0,15-0,4 Гц) связана с дыханием и отражает вагусный контроль СР, тогда как LF-составляющая характеризует состояние симпатического отдела ВНС [10] и, в частности, системы регуляции сосудистого тонуса (активность вазомоторного центра). Кроме того, некоторыми авторами показано, что увеличение мощности LF-компоненты СР свидетельствует об улучшении барорефлекторной регуляции гемодинамики [24].

Известно, что ТР отражает суммарную активность вегетативных воздействий на СР. Вагусная активация обычно сопровождается увеличением ТР [10]. Поэтому, рост ТР у испытуемых под влиянием УДИПЧ с индивидуально-подобранной частотой может быть связано с активацией вегетативного и уменьшением влияния центрального контура регуляции СВУС. Вместе с тем, известно, что, чем выше общая мощность спектра, тем более выражены адаптационные возможности организма [10].

Следовательно, полученные нами данные об увеличении мощности как отдельных компонент (LF и HF), так и общей мощности спектра СР (ТР), у испытуемых под воздействием УДИПЧ на частоте LF-составляющей спектра СР могут свидетельствовать об увеличении адаптационного потенциала организма испытуемых посредством увеличения вагусных воздействий и нормализации барорефлекторной регуляции КРС испытуемых.

При этом, обращает на себя внимание тот факт, что в результате курса УДИПЧ происходило постепенное сближение значений исследуемых показателей у волонтеров разных групп, (если до начала курса УДИПЧ различия оставляли 30-65% то к концу курса – 20-45%; $p < 0,05$) на что указывают паттерны коэффициентов их сравнения (К)

(рис. 1, Б; 2, Г). Следовательно, курсовое воздействие УДИПЧ приводит к нивелированию межгрупповых различий и приближению значений показателей ВСР у испытуемых с низкими и высокими значениями S_i к наиболее сбалансированному в функциональном отношении нормотоническому типу вегетативной регуляции, что свидетельствует о гомеостатическом действии УДИПЧ.

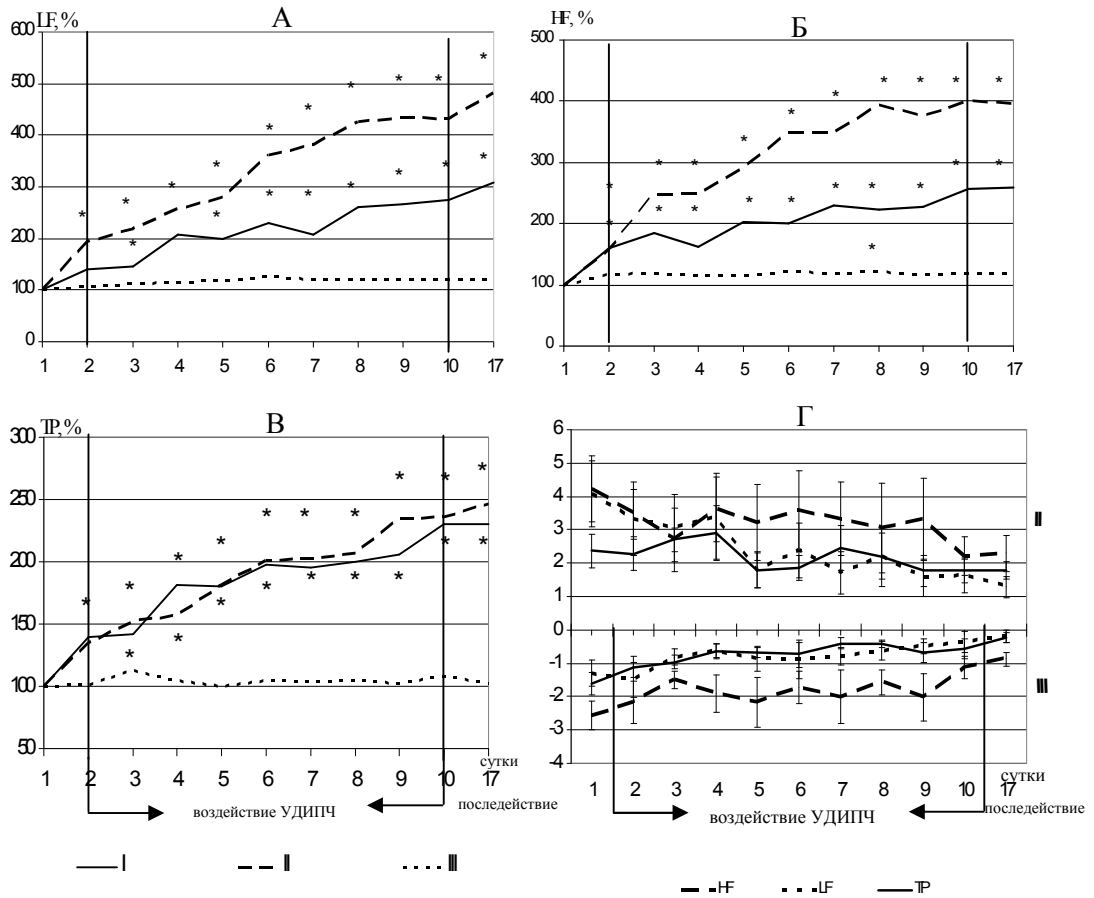


Рис. 2. Изменение спектральных показателей сердечного ритма у испытуемых выделенных групп в разные сроки эксперимента, где:

А – изменение LF-компоненты сердечного ритма в % относительно исходных значений, принятых за 100%; Б – изменение HF-компоненты; В – изменение TP; Г – коэффициент сравнения (К) спектральных показателей ритма сердца у испытуемых с высокими (II) и низкими значениями (III) S_i по отношению к значениям, полученным в группе испытуемых со средними значениями этого показателя.

Примечание: обозначения те же, что и на рис. 1.

Вместе с тем, выявлены индивидуальные различия в реакции на УДИПЧ у испытуемых выделенных групп. Так, в большей степени снижение S_i и увеличение

спектральных компонент СР происходило у испытуемых с высокими значениями S_i ($305,0 \pm 17,8$), характеризующихся симпатическим типом вегетативной регуляции и низкими показателями функционального состояния [11, 14]. У испытуемых с низкими значениями S_i ($40 \pm 3,6$) и парасимпатическим типом вегетативной регуляции достоверных изменений изученных показателей за все время исследования выявлено не было. Такие изменения у испытуемых выделенных групп под влиянием УДИПЧ, по-видимому, объясняются законом «начальных значений» Вильдера-Лейтеса, основной смысл которого состоит в «стягивании» исходно различных значений показателя к единому уровню. Этап реакции, состоящий в уменьшении дисперсии признака, формируется чаще в зоне средних значений физиологической нормы» [25].

Следует отметить, что у испытуемых группы 1 в ответ на УДИПЧ произошло наиболее значимое по сравнению с другими компонентами увеличение спектральной мощности в LF диапазоне СР. У испытуемых группы 2, исходно характеризующихся превалированием LF-компонентов спектра, было зарегистрировано более выраженное увеличение HF-компонентов, имеющих наименьший вклад в общую мощность спектра при фоновой записи. По мнению А.Р. Киселева с соавт. [26, 27], спектральные компоненты ВСР характеризуют состояние СВУС в конкретный момент времени. При этом низкочастотный (LF) диапазон спектра ВСР является следствием функциональной активности центральных механизмов СВУС, а высокочастотный (HF) – характеризует процессы взаимодействия сердечно-сосудистого и дыхательного центров регуляции. Поэтому, можно предположить, что зарегистрированное явление увеличения LF-компоненты в условиях УДИПЧ у испытуемых первой и второй групп может быть связано с центральной и вегетативной респираторно-зависимой синхронизацией в КРС испытуемых, ведущей к активации барорефлекторной регуляции на основе эффекта резонанса в спектре СР при воздействии УДИПЧ, а HF-компоненты – с усилением влияния блуждающего нерва и оптимизацией парасимпатической регуляции СР в ответ на УД с частотой, соответствующей частоте локализации максимального пика мощности СР в LF диапазоне.

Кроме того, в данном исследовании у испытуемых групп 1 и 2 была зарегистрирована зависимость изменения изученных показателей ВСР от продолжительности курса УДИПЧ. Так, показатель S_i стабилизировался уже с пятых суток исследования, а достоверные изменения спектральных характеристик СР наблюдались после трехкратного воздействия УДИПЧ, в то время, как максимальные эффекты проведения курса УДИПЧ – к 9-10-м суткам.

Таким образом, результаты наших исследований согласуются с положениями некоторых авторов [28] о наличии «допингового эффекта» УДИПЧ, который заключается в повышении анаэробного порога и снижении уровня стресса организма испытуемых и выражен в снижении S_i и повышением некоторых показателей спектрального анализа (особенно у испытуемых II-ой группы) уже после первых суток УДИПЧ (рис. 1, 2). Однако при многократном воздействии реакция КРС и организма в целом на УДИПЧ усиливается и сохраняется длительное время, что позволяет говорить о кумулятивном эффекте УДИПЧ на частоте LF-компоненты СР.

Известно, что «допинговый эффект» кратковременен и не позволяет достичь длительного последствия, а, следовательно, устойчивого изменения функционального состояния организма, в то время, как «кумулятивный эффект» закрепляется на длительное время, обеспечивая регуляцию управляющих функций КРС на разных уровнях функционирования путем увеличения адаптивных возможностей всего организма и имеет выраженный эффект последствия. Это положение подтверждается тем, что на протяжении последующих семи суток после окончания курса УДИПЧ биологические ответы достоверно отличались от исходных значений (рис. 1, 2).

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что в результате курсового воздействия УДИПЧ произошла эффективная модуляция механизмов регулирующих основной СР испытуемых, что связано с уменьшением межгрупповых различий и приближением значений изученных показателей СР у испытуемых с высокими и низкими значениями S_i к функциональному состоянию испытуемых со средними значениями S_i , как типичному среди исследуемых волонтеров и характеризующему условную физиологическую норму (рис. 1, 2).

Таким образом, 10-тидневный курс УД с частотой соответствующей частоте локализации максимального пика в низкочастотной области спектра СР является мощным механизмом управления сердечным ритмом и изменения функционального состояния не только КРС, но и организма в целом.

ВЫВОДЫ

1. Управляемое дыхание, частота которого соответствует частоте локализации максимального пика мощности сердечного ритма в низкочастотном (LF) диапазоне, является мощным механизмом управления сердечным ритмом и изменением функционального состояния кардио-респираторной системы.
2. Изучение свойств собственных колебательных процессов СВУС возможно на основе эффекта резонанса в спектре ВСР при воздействии управляемого дыхания с частотой, соответствующей частоте локализации максимального пика мощности сердечного ритма в LF-диапазоне.
3. Под влиянием УДИПЧ у испытуемых 1-ой и 2-ой групп с нормотоническим и симпатическим типом вегетативной регуляции произошло значительное снижение S_i , что свидетельствует об увеличении вагусных влияний на ритм сердца и уменьшении напряжения регуляторных систем.
4. Увеличение общей мощности спектра у испытуемых 1-ой и 2-ой групп под влиянием УДИПЧ на частоте колебаний LF-компоненты спектра сердечного ритма свидетельствует об усилении вегетативного воздействия на ритм сердца, что связано с центральной и вегетативной респираторно-зависимой синхронизацией между дыхательной и сердечно-сосудистой системами и свидетельствует об усилении барорефлекторной регуляции на основе эффекта резонанса в спектре сердечного ритма при воздействии УДИПЧ.
5. Курсовое воздействие УДИПЧ с индивидуально-подобранной частотой приводит к нивелированию межгрупповых различий и приближению значений показателей вариационного и спектрального анализа СР у испытуемых с

- низкими и высокими значениями S_i к нормотоническому типу вегетативной регуляции, что свидетельствует о его гомеостатическом действии.
- Изменение показателей variability сердечного ритма испытуемых под влиянием УДИПЧ на частоте колебаний спектра сердечного ритма зависят от длительности курса: достоверные изменения изучаемых параметров наблюдались уже после 1-го – 3-го сеансов УДИПЧ, а максимальные эффекты проведения курса УДИПЧ – к 9-10-м суткам.
 - Курсовое воздействие УДИПЧ имеет выраженный эффект последствия, о чем свидетельствует достоверное изменение показателей variability сердечного ритма на протяжении последующих 7-ми дней после окончания курса.

Список литературы

- Glass L. From clocks to chaos: the rhythms of life / L. Glass, M.C. Mackey – Princeton: Princeton University Press, 1988. – 214. P.
- Glass L. Synchronization and rhythmic processes in physiology / L. Glass // Nature. – 2001. – V. 410. – P. 277.
- Беспятов А.Б. Синхронизация колебательных процессов в кардио-респираторной системе: Эксперимент, модели : автореферат дис. ... канд. физико-математических наук: защ. 01.04.03. / А.Б. Беспятов – Саратов: Саратовский гос. ун-т им. Н.Г. Чернышевского, 2005. – 161 с.
- Synchronization between main rhythmic processes in the human cardiovascular system / M.D. Prokhorov, V.I. Ponomarenko, V.I. Gridnev [et al.] // Phys Rev E. – 2003. – № 68. – P. 13.
- De Boer R.W. On the spectral analysis of blood pressure variability / R.W. De Boer, J.M. Karemaker, J. Stracker // Physiol. – 1986. – V. 251, № 3. – P. 685.
- De Boer R.W. Relationships between short-term blood pressure fluctuations and heart variability in resting subjects. I: A spectral analysis approach / R.W. De Boer, J.M. Karemaker, J. Stracker // Med. Biol. Eng. Comput. – 1985. – V. 23, № 4. – P. 352.
- Триняк Н.Г. Управление дыханием и здоровье / Триняк Н.Г. – К.: Здоровья, 1991. – 310 с.
- Деклараційний патент України №38559, МПК 51 А 61N2/00/ на корисну модель „Спосіб корекції функціонального стану організму людини”/ Чуян О.М., Бірюкова О.А., Раваєва М.Ю./ Опубл. 12.01.2009 Бюл. №1.
- Баевский Р.М. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний / Р.М. Баевский, А.П. Берсенева – М.: Медицина, 1997. – 236 с.
- Heart rate variability. Standards of Measurement, Physiological interpretation and clinical use// Circulation. – 1996. – V.93. – P.1043–1065.
- Индивидуальный профиль функционального состояния организма студентов с различным типом вегетативной регуляции / Е.Н. Чуян, Е.А. Бирюкова, М.Ю. Раваева [и др.] // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Сер. «Биология, химия». – 2009. – Т. 22 (61), №2. – С.152–165.
- Circadian rhythms of frequency domain measures of heart rate variability in healthy subjects and patients with coronary artery disease. Effects of arousal and upright posture / H.V. Huikuri, M.J. Niemela, S. Ojala [et al.] // Circulation. – 1994. – V. 90, № 1. – P. 121.
- Heart rate dynamics during human sleep / Sapoznikov D., Luria M.H., Mahler Y. [et al.] // Physiol. Behav. – 1994. – V. 55, № 4. – P. 769.
- Особенности системы вегетативного управления сердцем у испытуемых с различным типом вегетативной регуляции / Е.Н. Чуян, Е.А. Бирюкова, М.Ю. Раваева [и др.] // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Сер. «Биология, химия». – 2009. – Том 22 (61), №1. – С.113–133.
- Чуян Е.Н. Роль управляемого дыхания в коррекции функционального состояния организма студентов / Е.Н. Чуян, Е.А. Бирюкова, М.Ю. Раваева // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Сер. «Биология, химия». – 2008. – Т. 21 (60), №2. – С. 147–155.

16. Баевский Р.М. Математический анализ сердечного ритма при стрессе / Р.М. Баевский, О.И. Кириллов – М.: Наука, 1984. – 220 с.
17. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) / Р.М. Баевский, Г.Г. Иванов, Л.В. Чирейкин [и др.] // Вестник аритмологии. – 2001. – Т. 24. – С. 66–85.
18. Щербатых Ю.В. Вегетативные проявления экзаменационного стресса: автореферат дис.... д-ра биол. наук. / Ю.В. Щербатых – СПб., 2001. – 12 с.
19. Григорьев А.И. Концепция здоровья и проблема нормы в космической медицине / А.И. Григорьев, Р.М. Баевский – М.: Ф-ма «Слово», 2001. – 96 с.
20. Соревновательный стресс у представителей различных видов спорта по показателям вариабельности сердечного ритма / Н.А. Агаджанян, Т.Е. Батоцзыренова, Ю.Н. Семенов [и др.] // Теория и практика физической культуры. – 2006. – №1. – С. 2–4.
21. Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: A quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control / Akselrod S.D., Gordon D., Ubel F.A. [et al]. // Science. – 1981. – V. 213, № 4503. – P. 220–222.
22. Spectral analysis of heart rate variability following human of heart transplantation: evidence for functional enervation / E.L. Fallen, M.V. Kamath, D.N. Chista [et al]. // Nerv. Syst. – 1988. – V. 23. – P. 199.
23. Neurological control of fetal heart rate in 20 cases of anencephalic fetuses / T. Terao, Y. Kawashima, H. Noto [et al]. // Obstet. Gynecol. – 1984. – V. 149. – P. 201.
24. Richter D. W. Central regulation of autonomic functions / D. W. Richter, K. M. Spyer // Cardiorespiratory control – NY: Oxford Univ. Press – 1990. – P. 189–207.
25. Плеханов Г.Ф. Зависимость реакции биосистемы на раздражитель от ее исходного значения / Г.Ф. Плеханов, Н.В. Васильев, Т.И. Козлова // Бюл. Сиб. отд. АМН СССР. – 1989. – № 2. – С. 83–86.
26. Изучение природы периодических колебаний сердечного ритма на основе проб с управляемым дыханием / А.Р. Киселев, В.Ф. Киричук, О.М. Посненкова [и др.] // Физиология человека. – 2005. – Т. 31, №3. – С. 76–83
27. Динамика мощности низко- и высокочастотного диапазонов спектра вариабельности сердечного ритма у больных ишемической болезнью сердца с различной тяжестью коронарного атеросклероза в ходе нагрузочных проб / А.Р. Киселев, В.И. Гриднев, О.М. Посненкова [и др.] // Физиология человека. – 2008. – Т.34, №3. – С. 57–64.
28. Система комплексного компьютерного исследования функционального состояния организма человека «Омега-М»: док. пользователя. – СПб., 2007. – 66 с.

Бірюкова О.О. Синхронізація коливальних процесів в кардіо-респіраторній системі у випробовуваних з різним типом вегетативної регуляції / О.О. Бірюкова, О.М. Чуян, О.Д. Богданова // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2009. – Т. 22 (61). – № 4. – С. 18-29.

Досліджувалася синхронізація коливальних процесів в кардіореспіраторній системі (КРС) випробовуваних з різним типом вегетативної регуляції при вживанні методу керованого дихання (КД) з індивідуально підбраною частотою (ППЧ) відповідно локалізації максимального піку потужності в низькочастотному діапазоні спектра сердечного ритму (СР).

Показано, що у випробовуваних з нормотонічним і симпатичним типом вегетативної регуляції курсова дія КДППЧ веде до значного зниження S_i і збільшення потужності спектральних компонентів СР. Отримані дані свідчать про зміну функціонального стану КРС і зменшення напруги регуляторних систем під впливом УДППЧ, що пов'язане з центральною і вегетативною респіраторно-залежною синхронізацією між дихальною і серцево-судинною системами.

Ключові слова: кардіореспіраторна система, вегетативна регуляція, кероване дихання, варіабельність серцевого ритму, спектральний аналіз.

Birjukova E.A. Synchronization between rhythmic processes in cardiovascular system at examinees with various type of vegetative regulation / E.A. Birjukova, E.N. Chujan, O. D. Bogdanova // Scientific Notes of Taurida V.Vernadsky National University. - Series: Biology, chemistry. - 2009. – V.22 (61). – № 4. – P. 18-29.

Synchronization between rhythmic processes in cardiovascular system (CVS) at examinees with various type of vegetative regulation were explored by method of controlled breathing (CB) with individually fitted frequency

(ITF) the conforming localization of the power peak in a low-frequency gamut of a heart rate (HR) spectrum. It is shown, that at examinees with normotonic and sympathetic predominance of vegetative regulation CBITF course action conducts to the considerable decrease S_i and augmentation of vigor of HR spectral components. The obtained data testify to change of the CVS functional state and strain reduction management systems under the influence of CBITF, that is bound to the central and vegetative respiration-dependent synchronization between respiratory and cardiovascular systems.

Keywords: cardiovascular system, the vegetative regulation, controlled breathing, heart rate variability, the spectral analysis.

Поступила в редакцию 04.12.2009 г.